

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number :

2002-329934

(43)Date of publication of application : 15.11.2002

(51)Int.CI.

H01S 5/40

(21)Application number : 2001-135060

(71)Applicant : SONY CORP

(22)Date of filing : 02.05.2001

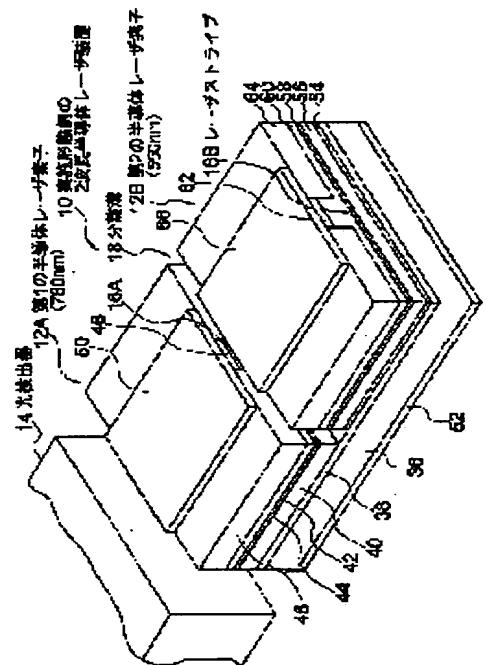
(72)Inventor : NAGASHIMA KENJI

(54) TWO-WAVELENGTH SEMICONDUCTOR LASER

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a two-wavelength laser having a constitution capable of accurately measuring the light intensity of a laser beam for output control with a small number of components.

SOLUTION: The two-wavelength semiconductor laser 10 comprises a first semiconductor laser element 12A for emitting a laser beam of 780 nm, a second semiconductor laser element 12B for emitting a laser beam of 650 nm, and an optical detector 24 for controlling the output of the first laser element. The first and second laser elements are disposed on a substrate with their respective laser stripes 16A, B arranged on a straight line and flush and mutually separated by a separation groove 18 perpendicular to the laser stripes.



(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号
特開2002-329934
(P2002-329934A)

(43)公開日 平成14年11月15日(2002.11.15)

(51) Int.Cl.⁷

識別記号

F I
H01S 5/40

テ-マコ-ト(参考)
5 E 073

審査請求 未請求 請求項の数 3 OJ (全 7 頁)

(21)出願番号 特願2001-135060(P2001-135060)

(71)出願人 000002185

ソニー株式会社

東京都品川区北品川6丁目2番35号

(22)出願日 平成13年5月2日(2001.5.2)

(72) 發明者 永嶋 壽一

水鄉一思—
東方智日川

東京都品川区北品川6丁目1番33号 ノニ
一株式会社

(34) 代理人 100000E881 林式云林

100095821

井理士 大澤 延 (外1名)
品名：上(索者) E7070-MG1-4P00-R105-S104-S110

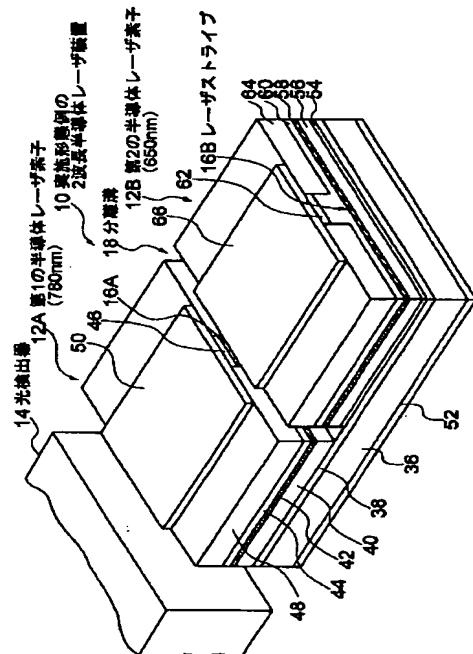
RAZI

(54) 【発明の名称】 2波長半導体レーザ装置

(57) 【要約】 (修正有)

【課題】 少ない部品点数で、しかも出力制御用としてレーザ光の光強度を正確に測定できる構成の2波長半導体レーザ装置を提供する。

【解決手段】 本2波長半導体レーザ装置10は、780 nmのレーザ光を発光する第1の半導体レーザ素子12Aと、650 nmのレーザ光を発光する第2の半導体レーザ素子12Bと、第1の半導体レーザ素子の出力制御用の光検出器14とを備えている。第1の半導体レーザ素子及び第2の半導体レーザ素子は、それぞれのレーザストライプ16A、Bが一直線上でかつ同じ高さになる配置で、レーザストライプに直交する方向に設けられた分離溝18により相互に分離されて基板上に配列されている。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 第1の発光波長のレーザ光を発光する第1の半導体レーザ素子と、第1の発光波長より短い波長の第2の発光波長のレーザ光を発光する第2の半導体レーザ素子と、第1の半導体レーザ素子の出力制御用の光検出器とを備え、

第1の半導体レーザ素子及び第2の半導体レーザ素子は、それぞれのレーザストライプが一直線上でかつ同じ高さになる配置で、レーザストライプに直交する方向に設けられた分離溝により相互に分離されて基板上に配列され、

光検出器は、第1の半導体レーザ素子の分離溝と反対側端面から出射されるレーザ光を受光するように配置され、

第2の半導体レーザ素子は第1の半導体レーザ素子の光導波路として機能し、第1の半導体レーザ素子は第2の半導体レーザ素子の出力制御用の光検出器として機能するように構成され、

第1及び第2の半導体レーザ素子のいずれか一方が、選択的に動作するようになっていることを特徴とする2波長半導体レーザ装置。

【請求項2】 第1の半導体レーザ素子はAlGaAs系化合物半導体層からなるレーザ共振器構造を備え、第2の半導体レーザ素子はAlGaInP系化合物半導体層からなるレーザ共振器構造を備えていることを特徴とする請求項1に記載の2波長半導体レーザ装置。

【請求項3】 第1の半導体レーザ素子がCD(コンパクトディスク)の記録・再生用の発光波長780nmの半導体レーザ素子であり、第2の半導体レーザ素子がDVD(デジタルビデオディスク)の記録・再生用の発光波長650nmの半導体レーザ素子であることを特徴とする請求項2に記載の2波長半導体レーザ装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、2波長半導体レーザ装置に関し、更に詳細には、少ない部品点数で、しかも出力制御用の光検出器の光軸調整を要しないように構成された2波長半導体レーザ装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術】 光学記録媒体の多様化と共に、種類の異なる光学記録媒体、例えばCD(コンパクトディスク)及びDVD(デジタルビデオディスク)の二種類の光学記録媒体を記録、再生できる装置が、注目されている。このような記録・再生装置の光学ピックアップ装置の光源には、2波長半導体レーザ装置が使用されている。例えばCD及びDVDの双方を記録・再生する装置の光学ピックアップ装置には、光源として、CD記録・再生用の発光波長780nmの半導体レーザ素子と、DVD記録・再生用の発光波長650nmの半導体レーザ素子とを備えた2波長半導体レーザ装置が設けられている。

【0003】 ここで、図3から図5を参照して、CD用の発光波長780nmの半導体レーザ素子及びDVD用の発光波長650nmの半導体レーザ素子をモノリシックに基板上に備えた従来の2波長半導体レーザ装置の構成を説明する。図3は従来の2波長半導体レーザ装置の要部構成を示す断面図、図4は従来の2波長半導体レーザ装置を半導体ブロックにマウントした状態の断面図、及び図5は従来の2波長半導体レーザ装置の平面図である。従来の2波長半導体レーザ装置30は、図3に示すように、CD用の発光波長780nmの第1の半導体レーザ素子32及びDVD用の発光波長650nmの第2の半導体レーザ素子34をn型GaAs基板36上に分離溝37を介して並列配置でモノリシックに集積させている。

【0004】 第1の半導体レーザ素子32は、n型GaAs基板36上に、n型GaAsバッファ層38、n型AlGaAsクラッド層40、活性層42、p型AlGaAsクラッド層44、及びp型GaAsキャップ層46からなる積層構造を備えている。p型GaAsキャップ層46及びp型AlGaAsクラッド層44の上部はストライプ状リッジとして形成され、リッジの両脇は埋め込み電流狭窄層48で埋め込まれている。また、p型GaAsキャップ層46及び埋め込み電流狭窄層48上には、p側電極50が形成され、n型GaAs基板36の裏面には共通電極としてn側電極52が設けてある。このように、第1の半導体レーザ素子32は、ゲインガイド型半導体レーザ素子として構成されている。

【0005】 第2の半導体レーザ素子34は、第1の半導体レーザ素子32と共にn型GaAs基板36及びn型GaAsバッファ層38上に、n型GaInPバッファ層54、n型AlGaInPクラッド層56、活性層58、p型AlGaInPクラッド層60、及びp型GaAsキャップ層62からなる積層構造を備えている。p型GaAsキャップ層62及びp型AlGaInPクラッド層60の上部はストライプ状リッジとして形成され、リッジの両脇は埋め込み電流狭窄層64で埋め込まれている。また、p型GaAsキャップ層62及び埋め込み電流狭窄層64上には、p側電極66が形成され、n型GaAs基板36の裏面には共通電極としてn側電極52が設けてある。このように、第2の半導体レーザ素子34は、第1の半導体レーザ素子32と同様にゲインガイド型半導体レーザ素子として構成されている。

【0006】 第1の半導体レーザ素子32と第2の半導体レーザ素子34とは、n型GaAsバッファ層38を露出させた分離溝37によって、物理的に相互に分離されていて、それぞれ、780nmのレーザ光及び650nmのレーザ光を基板と平行にほぼ同じ方向に出射する。第1の半導体レーザ素子32の発光点32aと第2の半導体レーザ素子34の発光点34aとの間隔は、図

5に示すように、 $100\text{ }\mu\text{m} \sim 200\text{ }\mu\text{m}$ 程度になっている。

【0007】第1の半導体レーザ素子32及び第2の半導体レーザ素子34は、図4に示すように、それぞれ、p側電極50及び66を下にして半導体ブロック70の電極72、74に接合されている。また、図5に示すように、半導体ブロック70の第1の半導体レーザ素子32及び第2の半導体レーザ素子34の出射端面とは反対側には、光検出器、例えばPINダイオード76が設けてある。PINダイオード76は、第1及び第2の半導体レーザ素子32、34の裏面側端面から出射されたレーザ光を受光してそれぞれのレーザ光の光強度を測定し、出力制御信号として第1の半導体レーザ素子32及び第2の半導体レーザ素子34の駆動装置(図示せず)に出力し、レーザ光の光強度が一定になるように第1の半導体レーザ素子32及び第2の半導体レーザ素子34の駆動電流をAPC(Automatic Power Control)方式で制御する。第1の半導体レーザ素子32及び第2の半導体レーザ素子34は、そのいずれか一方が、選択的に動作するように構成されている。

【0008】

【発明が解決しようとする課題】しかし、上述の従来の2波長半導体レーザ装置30では、第1の半導体レーザ素子32と第3の半導体レーザ素子34とが離隔してレーザストライプが並列配置され、従って発光点が離隔しているために、PINダイオード76の光軸を一方の半導体レーザ素子の発光点、例えば第1の半導体レーザ素子32の発光点に整合させると、他方の半導体レーザ素子の発光点、つまり第2の半導体レーザ素子34の発光点がPINダイオード76の光軸に整合しない。これでは、第2の半導体レーザ素子34のレーザ光の光強度を正確に測定することができない。そのために、それぞれの半導体レーザ素子を動作させる際に、PINダイオード76の光軸を調節することが必要になり、機構が複雑になるという問題があった。

【0009】また、第1及び第2の半導体レーザ素子のそれぞれに光検出器を設けると、2波長半導体レーザ装置全体が、1個の光検出器を増やした分だけ大型化し、小型化の要求に反することになり、また、部品点数が増えて、製品コストが嵩むと言う問題が生じる。

【0010】そこで、本発明の目的は、少ない部品点数で、しかも出力制御用としてレーザ光の光強度を正確に測定できる構成の2波長半導体レーザ装置を提供することである。

【0011】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するために、本発明に係る2波長半導体レーザ装置は、第1の発光波長のレーザ光を発光する第1の半導体レーザ素子と、第1の発光波長より短い波長の第2の発光波長のレーザ光を発光する第2の半導体レーザ素子と、第1の半

導体レーザ素子の出力制御用の光検出器とを備え、第1の半導体レーザ素子及び第2の半導体レーザ素子は、それぞれのレーザストライプが一直線上でかつ同じ高さになる配置で、レーザストライプに直交する方向に設けられた分離溝により相互に分離されて基板上に配列され、光検出器は、第1の半導体レーザ素子の分離溝と反対側面から出射されるレーザ光を受光するように配置され、第2の半導体レーザ素子は第1の半導体レーザ素子の光導波路として機能し、第1の半導体レーザ素子は第2の半導体レーザ素子の出力制御用の光検出器として機能するように構成され、第1及び第2の半導体レーザ素子のいずれか一方が、選択的に動作するようになっていることを特徴としている。

【0012】本発明で、レーザストライプとは、活性層のストライプ状発光領域を言う。本発明は、第2の半導体レーザ素子の発光波長が第1の半導体レーザ素子の発光波長より短いという条件を満たす限り、第1及び第2の半導体レーザ素子の発光波長のいかんを問わず適用でき、また、レーザ共振器構造を構成する化合物半導体の組成に制約無く適用できる。例えば第1の半導体レーザ素子は、AlGaAs系化合物半導体層からなる発光波長780nmのレーザ共振器構造を備え、一方、第2の半導体レーザ素子は、AlGaInP系化合物半導体層からなる発光波長650nmのレーザ共振器構造を備えるようにすることもできる。

【0013】本発明に係る2波長半導体レーザ装置は、第1の半導体レーザ素子をCDの記録・再生用の発光波長780nmの半導体レーザ素子とし、第2の半導体レーザ素子をDVDの記録・再生用の発光波長650nmの半導体レーザ素子とすることにより、CDとDVDの双方を記録・再生する装置の光学ピックアップ装置の光源として最適な2波長半導体レーザ装置を実現することができる。

【0014】本発明は、第2の半導体レーザ素子を第1の導体レーザ素子の光導波路として機能させ、第1の半導体レーザ素子を第2の半導体レーザ素子の出力制御用の光検出器として機能させ、一つの光検出器のみを第1の半導体レーザ素子の出力制御用の専用光検出器として設けることにより、従来の2波長半導体レーザ装置のように、光検出器の光軸調節を行ったり、半導体レーザ素子のそれぞれに光検出器を設けたりすることなく、2個の半導体レーザ素子のレーザ光の光強度を出力制御信号として正確に測定することができる。

【0015】

【発明の実施の形態】以下に、添付図面を参照し、実施形態例を挙げて本発明の実施の形態を具体的かつ詳細に説明する。

実施形態例

本実施形態例は、本発明に係る2波長半導体レーザ装置の実施形態の一例であって、図1は本実施形態例の2波

長半導体レーザ装置の構成を示す斜視図である。本実施形態例の2波長半導体レーザ装置10は、CDの記録・再生用の発光波長780nmの第1の半導体レーザ素子12Aと、DVDの記録・再生用の発光波長650nmの第2の半導体レーザ素子12Bと、半導体レーザ素子12Aの出力制御用の光検出器14とを備えた2波長半導体レーザ装置である。半導体レーザ素子12A、Bは、図1に示すように、それぞれのレーザストライプ16A、Bが一直線上になるように配置され、レーザストライプ16A、Bに直交する方向に設けられた分離溝18で分離されていて、いずれか一方が、選択的に動作するようになっている。

【0016】半導体レーザ素子12Aは、例えば三元AlGaAs系化合物半導体層からなるレーザ共振器構造を備えた、従来の第1の半導体レーザ素子32と同じ構成の半導体レーザ素子であって、分離溝18側の端面がレーザ光の出射端面となっている。即ち、第1の半導体レーザ素子12Aは、n型GaAs基板36上に、n型GaAsバッファ層38、n型AlGaAsクラッド層40、活性層42、p型AlGaAsクラッド層44、及びp型GaAsキャップ層46の積層構造を備えている。p型GaAsキャップ層46及びp型AlGaAsクラッド層44の上部はストライプ状リッジとして形成され、リッジの両脇は埋め込み電流狭窄層48で埋め込まれている。また、p型GaAsキャップ層46及び埋め込み電流狭窄層48上には、p側電極50が形成され、n型GaAs基板36の裏面には共通電極としてn側電極52が設けてある。このように、第1の半導体レーザ素子12Aは、ゲインガイド型半導体レーザ素子として構成されている。

【0017】また、半導体レーザ素子12Aは、半導体レーザ素子12Bのレーザ光の波長より長いバンドギャップ波長のレーザ共振器構造を備えているので、後述するように、半導体レーザ素子12Bの裏面側端面から出射されたレーザ光を吸収して光強度を検出し、半導体レーザ素子12Bの出力を制御する出力制御用光検出器として機能するように構成されている。

【0018】半導体レーザ素子12Bは、バンドギャップ・エネルギーが半導体レーザ素子12Aの活性層のバンドギャップ・エネルギーより大きな活性層を有する、発振波長が短いレーザ共振器、例えば四元AlGaN_xP系化合物半導体層からなるレーザ共振器構造を備えた、従来の半導体レーザ素子34と同じ構成の半導体レーザ素子であって、分離溝18の反対側の端面がレーザ光の出射端面となっている。

【0019】即ち、第2の半導体レーザ素子12Bは、第1の半導体レーザ素子12Aと共にn型GaAs基板36及びn型GaAsバッファ層38上に、n型GaNバッファ層54、n型AlGaN_xPクラッド層56、活性層58、p型AlGaN_xPクラッド層60

0、及びp型GaAsキャップ層62の積層構造を備えている。活性層58は、第1の半導体レーザ素子12Aの活性層42と基板上で同じ高さに位置するように形成されている。p型GaAsキャップ層62及びp型AlGaN_xPクラッド層60の上部はストライプ状リッジとして形成され、リッジの両脇は埋め込み電流狭窄層64で埋め込まれている。また、p型GaAsキャップ層62及び埋め込み電流狭窄層64上には、p側電極66が形成され、n型GaAs基板36の裏面には共通電極としてn側電極52が設けてある。このように、第2の半導体レーザ素子34は、第1の半導体レーザ素子32と同様にゲインガイド型半導体レーザ素子として構成されている。

【0020】半導体レーザ素子12Aは、出射端面、即ち分離溝18側の端面からレーザ光を出射する。出射されたレーザ光は、分離溝18を横切って半導体レーザ素子12Bの分離溝側端面、つまり裏面側端面に入射する。半導体レーザ素子12Bの発光波長は半導体レーザ素子12Aの発光波長より短いので、レーザ光は、殆ど吸収されることなく半導体レーザ素子12Bのレーザ共振器構造を透過して、半導体レーザ素子12Bの出射端面から再び出射される。例えば、2波長半導体レーザ装置10が光学ピックアップ装置の光源として設けられているときには、出射されたレーザ光は、光学ピックアップ装置の光学系に入射する。一方、出射端面とは反対側の裏面端面から出射された半導体レーザ素子12Aのレーザ光は、光強度が光検出器14によって検出される。光検出器14は、検出した光強度を半導体レーザ素子12Aの駆動装置（図示せず）に出力制御信号として出力する。

【0021】半導体レーザ素子12Bは、出射端面、即ち分離溝18とは反対側の端面からレーザ光を光学ピックアップ装置の光学系に向けて、直接、出射する。一方、出射端面とは反対側の裏面側端面、つまり分離溝18側の端面から出射された半導体レーザ素子12Bのレーザ光は、半導体レーザ素子12Bのレーザ光の波長よりバンドギャップ波長の長いレーザ共振器構造を有する半導体レーザ素子12Aで吸収される。つまり、半導体レーザ素子12Bの動作時には、半導体レーザ素子12Aは、光検出器として機能し、半導体レーザ素子12Bのレーザ光の光強度が検出し、検出した光強度を半導体レーザ素子12Bの駆動装置（図示せず）に出力制御信号として出力する。

【0022】以上の構成により、本実施形態例の2波長半導体レーザ装置10は、第2の半導体レーザ素子12Bを第1の導体レーザ素子12Aの光導波路として機能させ、第1の半導体レーザ素子12Aを第2の半導体レーザ素子12Bの出力制御用の光検出器として機能させ、光検出器14のみを第1の半導体レーザ素子12Aの出力制御用の専用の光検出器として設けている。これ

により、2波長半導体レーザ装置10は、従来の2波長半導体レーザ装置のように、光検出器の光軸調節を行ったり、半導体レーザ素子のそれぞれに出力制御用の光検出器を設けたりすることなく、2個の半導体レーザ素子のレーザ光の光強度を出力制御信号として正確に測定することができる。

【0023】図2を参照して、本実施形態例の2波長半導体レーザ装置10の作製方法を説明する。図2(a)から(c)は、それぞれ、本実施形態例の2波長半導体レーザ装置10を作製する際の工程毎の断面図である。先ず、図2(a)に示すように、n側GaAs基板36上全面に、n型GaAsバッファ層38、n型AlGaAsクラッド層40、活性層42、p型AlGaAsクラッド層44、及びp型GaAsキャップ層46からなる第1の半導体レーザ素子12Aの積層構造を形成する。

【0024】次いで、図2(b)に示すように、第1の半導体レーザ素子12Aの形成領域上の積層構造上にSiNx膜等でマスク68を形成し、続いて露出した第2の半導体レーザ素子12Bの形成領域のn側GaAsバッファ層38上の第1の半導体レーザ素子12Aの積層構造をエッチングして除去し、n型GaAsバッファ層38を露出させる。次に、図2(c)に示すように、マスク68を使った選択成長法によって、露出したn型GaAsバッファ層38上に、n型GaInPバッファ層54、n型AlGaInPクラッド層56、活性層58、p型AlGaInPクラッド層60、及びp型GaAsキャップ層62からなる第2の半導体レーザ素子34の積層構造を形成する。この際、活性層58は、第1の半導体レーザ素子32の活性層42と同じ高さになるようになる。

【0025】続いて、図示しないが、p型GaAsキャップ層及びp型クラッド層の上部からなるリッジが一直線上になるように、第1の半導体レーザ素子12A及び第2の半導体レーザ素子12Bの積層構造をエッチングしてリッジを形成する。次に、埋め込み電流狭窄層でリッジを埋め込み、更に、p側電極及びn側電極を形成して、第1の半導体レーザ素子12A及び第2の半導体レーザ素子12Bの境界をエッチングして、分離溝18を形成することにより、図1に示す2波長半導体レーザ装置10を作製する。

【0026】尚、以上の実施形態例で示した、第1及び第2の半導体レーザ素子の発光波長、化合物半導体層の組成、その他寸法等は、本発明の理解を容易にするための例示であって、本発明はこれら例示に限定されるものではない。

【0027】

【発明の効果】本発明によれば、第1の発光波長のレーザ光を発光する第1の半導体レーザ素子と、第1の発光

波長より短い波長の第2の発光波長のレーザ光を発光する第2の半導体レーザ素子と、第1の半導体レーザ素子の出力制御用の光検出器とを備え、第1及び第2の半導体レーザ素子をそれぞれのレーザストライブが一直線上でかつ同じ高さになるように配置することにより、第2の半導体レーザ素子を第1の半導体レーザ素子の光導波路として、第1の半導体レーザ素子を第2の半導体レーザ素子の出力制御用の光検出器として機能させ、第1の半導体レーザ素子のみに専用の光検出器を設けている。これにより、従来の2波長半導体レーザ装置のように、一方の半導体レーザ素子から他方の半導体レーザ素子に切り換える度に光検出器の光軸調節を行ったり、半導体レーザ素子のそれぞれに出力制御用の光検出器を設けたりすることなく、2個の半導体レーザ素子のレーザ光の光強度を出力制御信号として正確に測定することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】実施形態例の2波長半導体レーザ装置の要部構成を示す斜視図である。

【図2】図2(a)から(c)は、それぞれ、実施形態例の2波長半導体レーザ装置10を作製する際の工程毎の断面図である。

【図3】従来の2波長半導体レーザ装置の構成を示す断面図である。

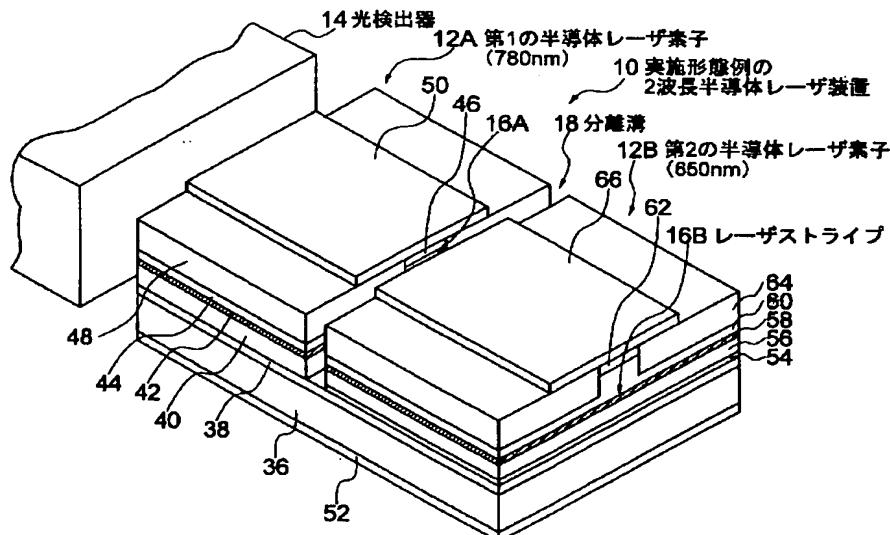
【図4】従来の2波長半導体レーザ装置を半導体ブロックにマウントした状態の断面図である。

【図5】従来の2波長半導体レーザ装置の平面図である。

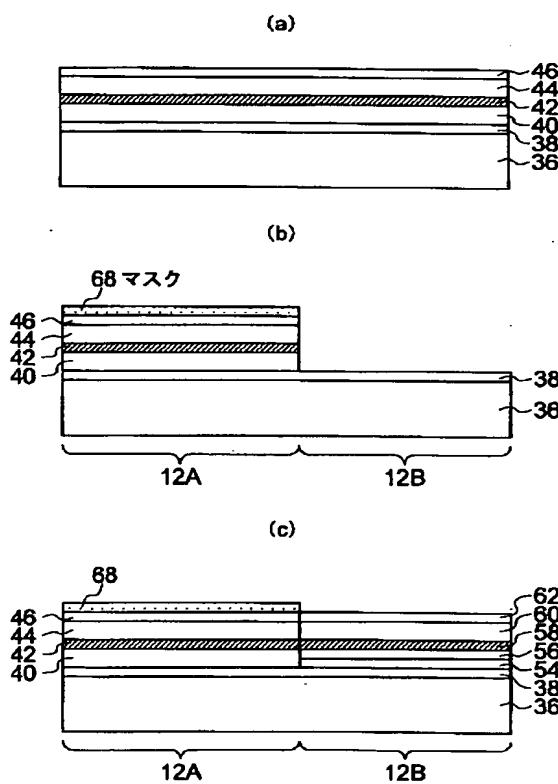
【符号の説明】

30 1 0 ……実施形態例の2波長半導体レーザ装置、12A ……CDの記録・再生用の発光波長780nmのB第1の半導体レーザ素子、12B ……DVDの記録・再生用の発光波長650nmの第2の半導体レーザ素子、14 ……光検出器、16A、B ……レーザストライブ、18 ……分離溝、30 ……従来の2波長半導体レーザ装置、32 ……CD用の発光波長780nmの第1の半導体レーザ素子、34 ……DVD用の発光波長650nmの第2の半導体レーザ素子、36 ……n型GaAs基板、37 ……分離溝、38 ……n型GaAsバッファ層、40 ……n型AlGaAsクラッド層、42 ……活性層、44 ……p型AlGaAsクラッド層、46 ……p型GaAsキャップ層、48 ……埋め込み電流狭窄層、50 ……p側電極、52 ……n側電極、54 ……n型AlGaInPバッファ層、56 ……n型AlGaInPクラッド層、58 ……活性層、60 ……p型AlGaInPクラッド層、62 ……p型GaAsキャップ層、64 ……埋め込み電流狭窄層、66 ……p側電極、68 ……マスク、70 ……半導体ブロック、72、74 ……電極、76 ……PINダイオード。

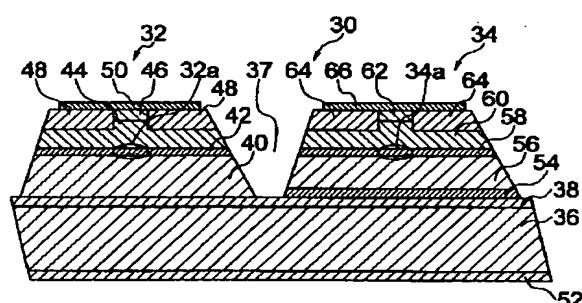
【図1】



【図2】

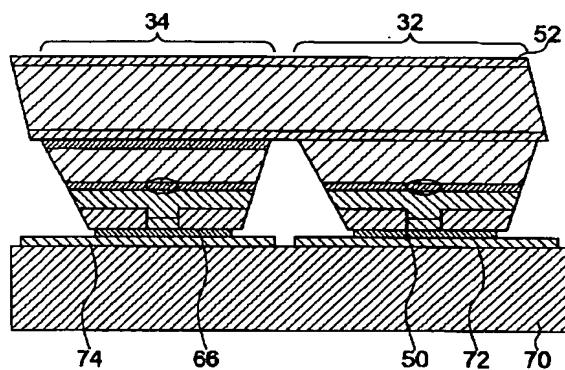


【図3】



30 従来の2波長半導体レーザ装置
 32 CD用の発光波長780nmの第1の半導体レーザ素子
 34 DVD用の発光波長650nmの第2の半導体レーザ素子
 36 n型GaAs基板
 37 分離溝
 38 n型GaAsバッファ層
 40 n型AlGaAsクラッド層
 42 活性層
 44 p型AlGaAsクラッド層
 46 p型GaAsキャップ層
 48 埋め込み電流狭窄層
 50 p側電極
 52 n側電極
 54 n型GaInPバッファ層
 56 n型AlGInPクラッド層
 58 活性層
 60 p型AlGInPクラッド層
 62 p型GaAsキャップ層
 64 埋め込み電流狭窄層
 66 p側電極

【図4】



【図5】

